

降雨による積雪層の浸透・融解実験

鴻池組 正会員 ○松原 陸弥
 福井大学 非会員 佐々木 俊之
 福井大学 正会員 藤本 明宏

1. 研究の背景と目的

日本では年間 1000 件前後の斜面崩壊が発生しており、発生件数は地域によるものの融雪期が梅雨・台風期を上回る¹⁾。地盤への浸透水量や積雪荷重は斜面の安定性に関係するため、積雪内の水分移動の把握は融雪期の斜面崩壊を評価する上で重要となる。しかしながら、融雪水量や地盤への浸透水量を推定することは簡単でない。その理由は積雪内部の複雑な状態変化にあり、融雪水の発生は気象や地盤との間の熱と水分移動に支配され、積雪内の水分移動はその間隙率や飽和度に依存する毛管力や透水係数に支配される²⁾。

本研究は積雪荷重や積雪を介した水分の地盤浸透を考慮した斜面安定解析手法の構築を目指しており、本論文では、室内実験から降雨と融解を伴う積雪層の荷重と底面からの流出量について知見を得たので紹介する。

2. 実験概要

図 1 に示す概要図を用いて実験の手順を述べる。(i)鉛直に立てた円管の中に雪を詰める。円管は内径 10 cm、高さ 50 cm であり、積雪と外気の熱移動を抑制するために水が出入する上下面を除いた側面は断熱材で覆われる。(ii)円管の真上に設置した降雨シミュレータから雨水を供給する。(iii)積雪底面からの流出水を積雪の下部に置かれ

たバットで回収し、電子重量計で 10 秒毎に記録する。(iv)実験開始から約 4 時間後に降雨を停止し、実験を終了する。(v)実験終了後、積雪層の密度と質量含水率および雪の粒径を鉛直方向 10 cm 間隔ごとに計測する。なお、降雨シミュレータは図 1 に拡大して示すように円管と注射針で構成され、任意の高さで越流させることで水压を制御し、雨量を調節することができる。

積雪の初期状態として、降雨開始前に円管に充填した雪の重量を測定し、積雪の乾燥密度と荷重を求めた。実験中の積雪荷重は積雪への流入水量と積雪からの流出水量を基に算出した。積雪密度は積雪荷重と実験中にノギスで定期的に計測した積雪高さから算出した。実験終了時の積雪の密度は円管サンプラーによって、質量含水率は熱量法(温度変化から氷の融解潜熱を計測し、氷の質量に換算する方法)の含水量計によって、雪の粒径はマイクロスケールによって、それぞれ計測した。

3. 実験結果

本研究では、降雨強度や初期の積雪密度を変化させて 5 回の実験を実施した。ここでは表 1 に示す実験ケース iv を例に本実験における事象を説明する。

(1) 積雪層の水収支の時間変化

図 2 上段は降雨強度と積雪底面からの流出強度の時間変化である。図中の期間 a では積雪層内に降雨が貯留されるため、積雪底面からの流出は生じない。期間 b では、積雪底面から降雨量の 1~1.5 倍に相当する流出が見られた。流出強度の値が細かく増減しているが、これは積雪

表 1 実験条件の一覧

実験ケース	I	II	III	IV	V	
初期雪荷重	160.3	178.1	164.0	215.8	238.9	kg/m ²
初期雪乾燥密度	0.32	0.36	0.33	0.43	0.48	g/cm ³
降雨強度	29	84	117	109	122	mm/h
室温	-2					°C
降雨温度	5.7	6.7	6.8	6.6	10.4	°C
実験継続時間	4.5	4	4	5	4	h

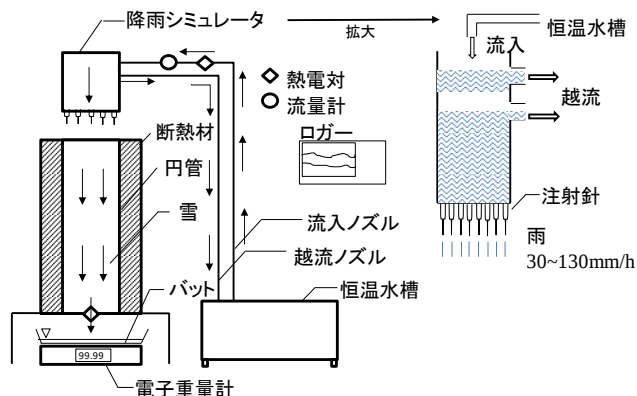


図 1 実験概要

キーワード：斜面崩壊、降雨、積雪、融雪、雪の性状変化

連絡先：〒910-8507 福井市文京 3-9-1 福井大学工学部建築・都市環境工学科 地盤工学研究室 TEL 0776-27-8594

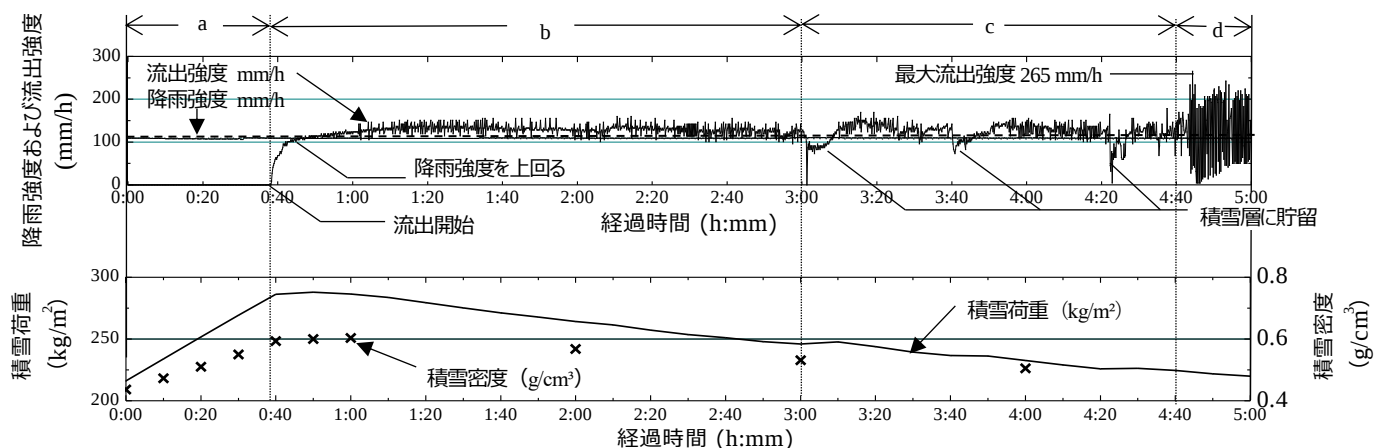


図2 積雪層の水収支(上段)および積雪の荷重・密度(下段)の時間変化

底面からの流出が水滴のように数秒間隔で不定期に落ちる現象であったことによる。期間 c では、一時的に流出強度が雨量を下回り、積雪層に再び降雨が蓄えられる現象が生じた。期間 d では、降雨強度の2~2.5倍に相当する流出強度が発生し、最大で265 mm/hを記録した。この期間の流出は、点滴のような断続的な流出、蛇口を開いたような連続的な流出、流出の停止の3つの状態が10~15秒間隔で繰り返された。こうした不安定に起こる点滴状の流出や連続的な流出と停止の繰り返しは、既往研究²⁾から推察すると鉛直方向の相対的な保水性や含水率の違いが引き起こすキャピラリーバリア現象やフィンガー状の水みちの形成と考えられる。

(2) 積雪荷重および積雪密度の時間変化

図2下段は、積雪の荷重および密度の時間変化を示す。降雨が積雪に貯留される期間 a では、積雪荷重および積雪密度は時間経過につれて増加する。この期間の終了時に積雪荷重は全実験期間において最大の296.8 kg/m²となった。この値は初期の積雪荷重と比較すると約1.3倍である。積雪密度は期間 a の終了時から約20分後に最大となり、初期積雪密度の約1.4倍の0.61 g/cm³を記録した。期間 a の後は積雪の融解により流出量が降雨量を上回るため、積雪荷重および積雪密度は緩やかに減少した。実験終了時の積雪荷重は219.9 kg/m²であり、積雪密度は0.48 g/cm³であった。

(3) 実験終了時における積雪状態の鉛直分布

図3は実験終了後における積雪層の密度、粒径および氷:水:空気の体積率を示す。積雪密度は0.47~0.65 g/cm³の範囲にあり、積雪層下層に向かって増大する傾向が観られた。雪の粒径は積雪層下層ほど大きくなった。氷の

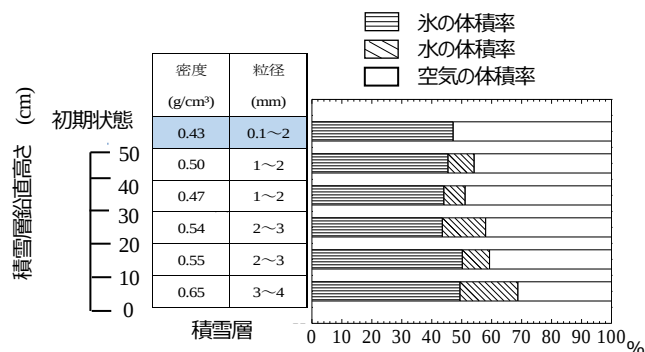


図3 実験終了時における積雪状態鉛直分布

体積率は積雪層の底部に向かって微増した。水の体積率は積雪層の底部に向かって増大する傾向が観られ、最下層では19.3%であった。

4. まとめ

降雨を伴う積雪層において、その底部からの流出水の挙動は不安定かつ不連続であり、これを受けて積雪の荷重や密度は鉛直方向にまた時間的に変化する。このように降雨を伴う積雪内部の水分移動は極めて複雑な上、キャピラリーバリアや水みちの出現には未だ不明な点が多い。今後はさらに実験を重ねて、積雪内部の水分移動理論の体系化を進めるとともに、積雪を考慮した斜面安定解析手法の構築を目指す。

参考文献

- 1) 国土交通省, 砂防部, 土砂災害発生事例, 「平成16年~平成28年に発生した土砂災害」
<http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/jirei.html>
- 2) 平島寛行, 勝島隆史: 積雪中における水分移動のモデル化の現状と課題, 雪氷, 79, 6, 483-495, 2017.